引用格式：张奇，薛晨阳，夏军．鄱阳湖极端干旱的影响、成因与对策．中国科学院院刊，2023, 38(12): 1894-1902, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230813005.
Zhang Q, Xue C Y, Xia J. Impacts, contributing factors and countermeasures of extreme droughts in Poyang Lake. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(12): 1894-1902, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230813005. (in Chinese)

鄱阳湖极端干旱的影响、成因与对策

张 奇[1] 薛晨阳[2] 夏 军[3*]

1 河海大学 长江保护与绿色发展研究院 南京 210098
2 中国科学院南京地理与湖泊研究所 南京 210008
3 武汉大学 水资源工程与调度全国重点实验室 武汉 430072

摘要 变化环境下鄱阳湖近20年来水文节律发生了显著调整，水位持续下降，干旱化趋势严重。2022年鄱阳湖更是遭遇特大干旱，水位刷新历史最低记录。鄱阳湖极端干旱给湖区经济社会和生态环境带来重大影响，引起了政府和社会的高度重视和广泛关注。文章基于长时间系列气象水文数据分析、已有研究结果及水文预测模拟，分析了鄱阳湖干旱的影响与成因，并提出了对策与建议。

关键词 气候变化，极端干旱，水利工程协同调控，水安全，鄱阳湖

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20230813005
CSTR 32128.14.CASbulletin.20230813005

鄱阳湖是我国第一大淡水湖，多年平均最大通江湖体面积2 818 km^2，最大蓄水量1.32×10^{10} m^3[1]。鄱阳湖也是长江中游重要的通江湖泊，流域面积162 000 km^2，据江西省水文部门提供的站点实测径流计算，鄱阳湖排入长江的1960—2022年平均径流量1.47×10^{11} m^3，占长江下游大通水文站径流量的16.7%。鄱阳湖蕴涵优质水资源，是长江中下游重要的战略水源。鄱阳湖生物多样性丰富，是多种珍稀生物的重要栖息地，每年迁徙来此越冬的候鸟数量平均达34万只[2]。鄱阳湖也是“微笑天使”江豚的重要栖息地，在此生活的江豚数量达500头，占长江流域江豚总数的近一半。国家和地方高度重视鄱阳湖的生态环境保护，

*通信作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA23040202），国家自然科学基金（U2040205），中央高校基本科研业务费专项资金（423212-3015），江西省水利厅重点科技项目（202325ZDKT13）
修改稿收到日期：2023年11月17日

2018年4月26日，习近平总书记在深入推动长江经济带发展座谈会上的讲话中明确指出，长江的“生态环境形势依然严峻”，以及“长江‘双肾’洞庭湖、鄱阳湖频频干旱见底，接近30%的重要湖库仍处于富营养化状态”。江西省从1983年开始实践的“山江湖”工程，以系统思维统筹考虑“流域—长江—湖泊”的相互关系，在水源涵养、鄱阳湖水质和水生态保护方面取得了积极的成效。

近20年来，在全球气候变化和高强度水资源开发等人类活动影响下，长江中游的江湖关系持续调整，鄱阳湖水文节律发生了深刻的变化。主要表现为：湖泊提前进入枯水期，枯水时段延长，枯水期水位下降快，水位创历史新低等干旱化征兆[3-6]。气候变化导致鄱阳湖流域发生极端水文事件。2020年长江发生了超标准洪水，洪水持续时间和强度都接近1998年特大洪水的规模，造成全流域673.3万人受灾，农作物受灾74.2 hm^2，绝收19.2×10^4 hm^2，农业直接经济损失约313.3亿元。2022年，长江流域又发生了历史罕见的“汛期返枯”事件。2022年9月23日，鄱阳湖水位下降至7.1 m（吴淞高程），为1951年有记录以来历史新低。鄱阳湖面积萎缩至244 km^2，蓄水量仅为7.8×10^8 m^3，全湖近乎完全干涸（图1）。截至2022年10月底，江西省全省因旱而需要救助的人口达40.7万余人，其中饮水困难人口1.9万余人，全省1 504个乡（镇）530.6万人受灾，生态环境受到严重破坏[7]。2023年以来，鄱阳湖总体水位持续走低，与1953—2022年同期（1—8月）相比下降2.6 m。2023年7月20日，鄱阳湖代表水文站星子站的水位降至12.0 m附近，标志着鄱阳湖提前进入枯水期（图2），2023年成为有记录以来最早进入枯水期的年份，比历史平均提前了103天，比2022年还提前了15天。

本文基于1960—2022年江西省提供的实测气象水文数据，重点分析鄱阳湖水文干旱的影响和成因，并提出相应的对策建议。

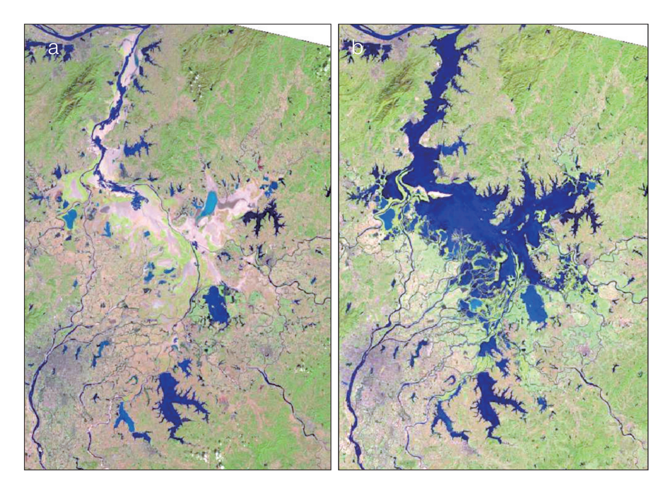


图1 鄱阳湖区域2022年11月7日（a）和2017年11月1日（b）遥感影像图

Figure 1 Remote sensing image of Poyang Lake in November 7, 2022 (a) and November 1, 2017 (b)

数据源为Landsat-8 OLI卫星，蓝色代表水体

Data source is Landsat-8 OLI, blue area represents the water body

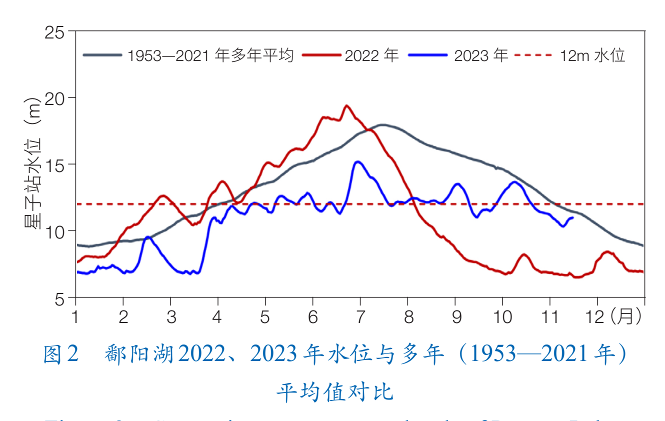


图2 鄱阳湖2022、2023年水位与多年（1953—2021年）平均值对比

Figure 2 Comparison among water levels of Poyang Lake in 2022 and 2023 and annual average (from 1953 to 2021)

1 鄱阳湖历史水位极值变化特征

鄱阳湖水位变化趋势在2000年左右发生了显著改变。以鄱阳湖星子站为代表站，对1960—2022年星子站水位的年极大值和极小值进行距平和累积距平的分析发现（图3），年水位极大值在1987、1999和2014年发生突变。年水位极大值在1960—1987年呈不显著下降趋势（p>0.05），2000—2014年呈显著下降趋势（p<0.01），1988—1999年（p<0.01）、2015—2022年

($p<0.05$)呈现显著上升趋势。年水位极小值的变化趋势更为明显，1980—2003年呈显著上升趋势($p<0.01$)，1960—1979年、2004—2022年呈显著下降趋势($p<0.01$)。

21世纪以来，鄱阳湖水位极大值距平正负值交替出现，水位极大值在1960—2022年多年均值19.22 m上下波动；水位极小值距平多为负值，累积距平线下降，即水位极小值持续降低。2022年水位极小值距平达到历史最低值(–1.48 m)，水位极小值比1960—2022年多年平均值(7.96 m)低1.48 m，达6.48 m，突破历史最低7.11 m(2004年2月4日)。对2003年前后水位极小值的重现期进行分析，发现百年一遇的低水位从7.59 m下降到了7.15 m，意味着近20年来鄱阳湖的低水位呈越发偏枯趋势。三峡水库汛后蓄水造成长江干流水位降低，加快了鄱阳湖出流，造成鄱阳湖进入枯水期时间提前，枯水期水位下降快等现象。2003年三峡工程运行后，鄱阳湖枯水期(星子站水位低于12 m)的开始时间由三峡水库蓄水前的11月上旬提前到了10月上旬，提前了约1个月。

2 鄱阳湖典型干旱事件及其影响

(1) 鄱阳湖历史上出现过多次严重的高温干旱事件。2013年7—8月中旬，西太平洋副热带高压(以下简称“西太副高”)异常偏西偏北，致使雨带北移，鄱阳湖流域出现高温少雨天气，至8月下旬干旱情况才有所缓解；2019年也出现严重的夏秋连旱，干旱自7月中旬开始发展，持续时间达半年之久。2019年全年降雨与多年平均基本持平，但年内分布极其不均匀，8—12月的降雨量不到全年降雨量的两成。21世纪以来，鄱阳湖发生干旱的次数增加，程度加重。长江上游大型控制性水库群的运行造成长江干流河道下切，干流水位下降，对鄱阳湖的顶托作用明显减弱，导致鄱阳湖蓄水量下降；此外，从2000年开始，长江主河道采砂全面禁止，大量采砂行为转移至鄱阳湖内，使得鄱阳湖北部通江河道过水断面下切，鄱阳湖泄水能力加强，增大了鄱阳湖的出湖水量。在气候变化背景下，人类活动一定程度上加剧了鄱阳湖的干旱程度[8]。

(2) 鄱阳湖干旱造成巨大的影响。江西省是农业大省，干旱直接导致巨大的农业受损。根据1978—2022年农业受灾面积、绝收面积、受灾人口和直接经济损失等因素，鄱阳湖历史上因干旱而损失最大的年份为1978、1986、1991、2003、2007、2011和2019年[9](表1)。1978年的年降雨量在1960—2022年时间段内排序倒数第1位(图4)，因此也是农业受灾最为严重的一年。2003年是农业直接经济损失最大的一

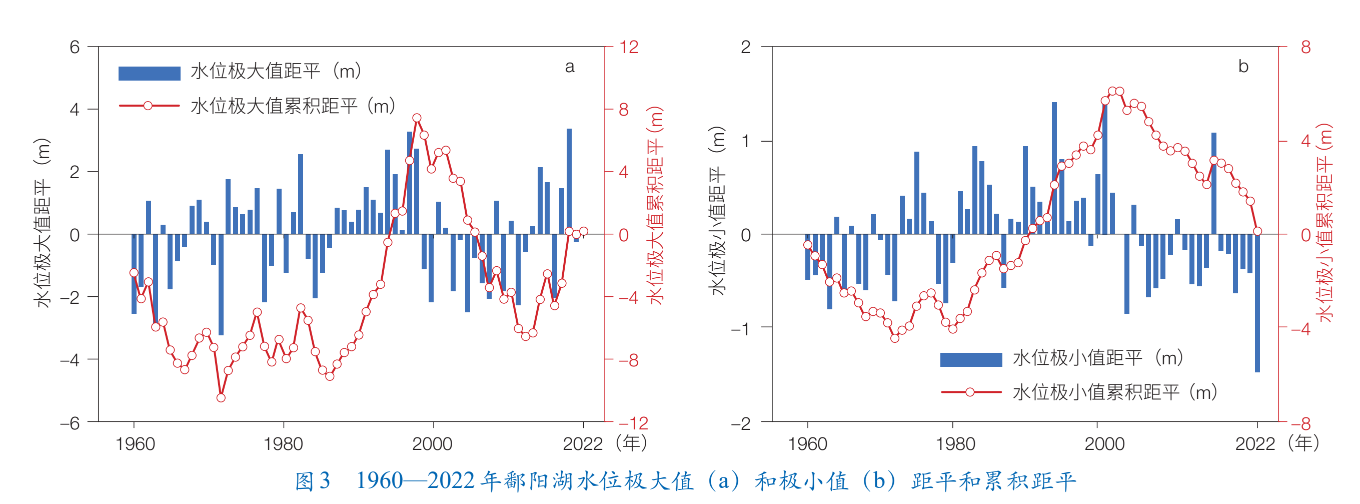


图3 1960—2022年鄱阳湖水位极大值(a)和极小值(b)距平和累积距平

Figure 3 Poyang Lake extreme water levels (a) anomaly and (b) cumulative anomaly from 1960 to 2022

年，这是由于2003年是典型的伏秋冬连旱，在6月下旬—9月上旬，江西省超过一半的县市出现日最高气温超过40℃的情况，降雨量比历史同期减少40%左右，高温少雨发生在7—8月早稻灌浆结实，晚稻秧苗生长的关键时期，造成农业受灾严重。2022年，鄱阳湖的最低水位创历史新低（图4），但是干旱对农业经济造成的损失并不是最严重的，原因是：① 流域水利工程的建设和调度策略更加完善。2022年7月初，鄱阳湖流域中型水库的蓄水率高达84%，为后期的抗旱提供了一定的保障。长江上游水库群也多次加大出库流量向下游补水，有效抬高了长江干流水位，缓解了鄱阳湖的干旱。② 江西省的农作物种植结构持续优化。据《江西省水稻产业发展调查》的统计数据，1980—2021年江西省的水稻种植结构发生了变化，2021年中稻和一季晚稻的种植面积比1980年增加了3倍多，种植比例达到了27.5%。中稻和一季晚稻的灌溉期错开了8—9月农业灌溉需水的高峰期，因而减少了农业经济损失[7,9]。

（3）干旱对湖区生态环境也造成显著影响。① 越冬候鸟。鄱阳湖面积巨大的洪泛湿地蕴含众多的碟形湖，它们是越冬候鸟的重要栖息地。遥感影像监测表明，2022年7月中旬水面面积大于1 km^{2}的碟形湖蓄水总面积为930 km^2，而到8月初，碟形湖的数量减少了36%，蓄水总面积缩减了86%[7]，越冬候鸟栖息地面积显著减少。② 湖泊水质。碟形湖水位下降造成水文连通性降低，低水文连通导致水质空间差异增大，造成碟形湖水质变差[10]。③ 水生生物。湖区水位下降还造成水生生物的生存空间被压缩，鱼类、蚌类、底栖生物等死亡。根据《长江流域水生生物资源及生境状况公报》的调查结果，2022年鄱阳湖鱼类资源丰度比2020年下降约6.3%[11]。④ 湿地植被。洪泛区地下水是湿地植被的重要水分来源，湖泊干旱造成洪泛湿地地下水埋深增大，沉水植被的生存空间被中生性植被群落严重挤占，苔草等湿地植被的生长期提前并快速衰老，以苔草和水生植物块茎为主要食物的候鸟或将面临食物短缺的危机[12,13]。

3 2022年鄱阳湖特大干旱成因

（1）大气环流。2022年长江极端干旱既与连续拉尼娜对我国气候的影响及西太副高季节内变化异常有关，也与青藏高原热力异常和破纪录高温事件有关，多个影响因子交织在一起，成因复杂且有不确定性。

表1　鄱阳湖2022年与历史重灾年干旱灾害程度对比

Table 1　Comparison of drought disaster degree between 2022 and historical severe drought years of Poyang Lake

年份	降雨量（mm）	年最低水位（m）	受灾面积（×10^3 hm^2）	绝收面积（×10^3 hm^2）	受灾人口（万人）	农业直接经济损失（亿元）
1978	1285.7	7.44	1445.72	249.82	1154.87	—
1986	1347.4	8.17	962.67	102.00	1146.00	—
1991	1487.8	8.41	1419.33	118.48	624.14	79.55
2003	1329.3	7.96	1057.00	248.00	1709.10	210.79
2007	1314.4	7.29	1018.95	113.03	1222.50	107.27
2011	1437.7	8.11	518.40	25.30	755.40	15.57
2019	1737.5	7.33	492.64	92.18	523.26	34.64
2022	1518.2	6.48	700.00	79.33	530.60	71.00

注：“—”表示无数据记录。

Note: “—” indicates that no data is recorded.

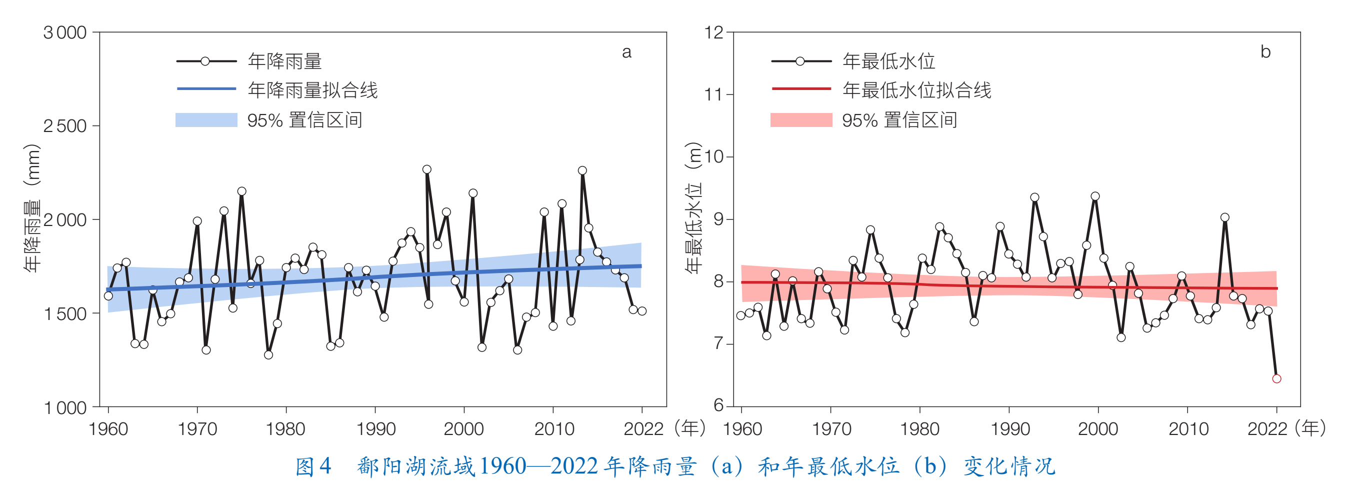


图4　鄱阳湖流域1960—2022年降雨量（a）和年最低水位（b）变化情况

Figure 4　Changes in rainfall (a) and annual lowest water level (b) in Poyang Lake from 1960 to 2022

2022年夏季，异常的大气环流使得整个北半球经历了高温干旱，欧美和亚洲均出现了严重的干旱事件，常年冰雪覆盖的北极圈温度也飙升至32.5°C[14]。西太副高是控制长江中下游夏季气候最重要的大气环流系统，异常的西太副高会导致极端高温、干旱和洪水的发生[15,16]。2022年夏季偏强的西太副高是长江中下游高温干旱天气事件的重要原因，从6月中旬开始，西太副高不断西伸北抬，至7—8月一直控制着长江流域，尤其是8月的极端异常副高，使得长江流域盛行下沉气流，导致地面增温，高温干旱指标突破历史值，出现极端高温干旱事件[17,18]。此外，位于阿拉伯半岛至伊朗上空的大陆副热带高压不断东伸北抬，与西太副高长时间贯通汇合，形成了一个强度大、范围广的副热带高压控制带，阻止了南部水汽向中纬度输送，造成长江流域降雨减少。上述因素造成鄱阳湖发生了超100年一遇的极端干旱事件。

（2）鄱阳湖流域“五河”流量减少。鄱阳湖“五河”（赣江、抚河、信江、饶河和修水）径流是鄱阳湖的主要来水，其对出湖流量（湖口站）的贡献率达80%左右。2022年“五河”来水总量占1960—2021年平均值的95%，水量在多年序列中排序第34位，但年内分配不均匀。2022年7—11月“五河”入湖流量为1 098 m^3/s，仅为1960—2021年平均值的38%（图5），比历史同期平均值减少62%。其中，8—11月入湖水量为1960年以来同期平均流量倒序第1位。10月底全流域30余条集水面积大于10 km^2的河流出现断流，大型水库有效蓄水减少到8.23×10^9 m^3，比7月的蓄水量减少了20%；中小型水库的有效蓄水减幅甚至超过了50%，约30%中小型水库水位消落至死水位[7]。

（3）长江上游来水减少。鄱阳湖与长江的水力关系（江湖关系）对鄱阳湖水量的季节性变化有重大影响。取决于长江干流水位与鄱阳湖水位的相对落差，长江对鄱阳湖可产生“排空”“顶托”“倒灌”等作

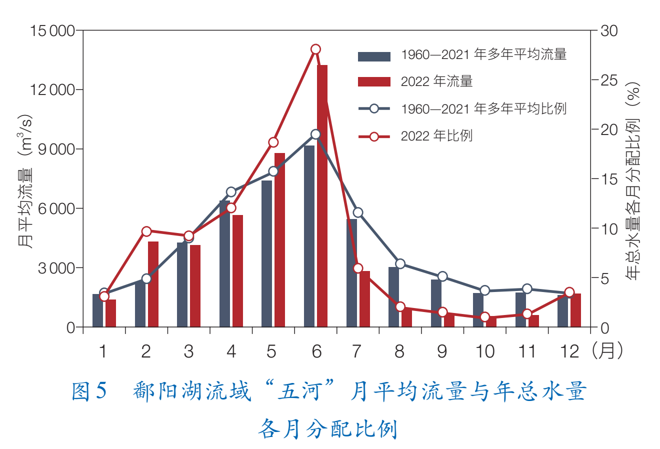


图5　鄱阳湖流域“五河”月平均流量与年总水量各月分配比例

Figure 5　Monthly average discharge volume and monthly distribution proportion of annual total water volume of Five Rivers in Poyang Lake catchment

用。长江干流九江水文站2022年7—11月平均流量为11 994 m^3/s，仅为历史同期平均值（1993—2021年）的44%（图6）。长江上游来水的减少，使长江对鄱阳湖产生显著的“排空”作用。2022年湖口站流量显示，7—11月出湖流量平均值为2 197 m^3/s，比同期“五河”入湖流量（1 098 m^3/s）增加1倍，鄱阳湖蓄水量被显著“排空”，造成湖泊水位剧烈下降。

4 应对鄱阳湖干旱问题的对策建议

面对日趋严峻的全球变化影响下的水旱灾害，目前迫切需要采取适应性的水管理应对措施，既要有水库群调控等工程措施，也要有预报预警、调度及保险和法规组成的非工程措施，二者缺一不可。

（1）综合运用长江流域水库群，实施科学的协同调度，以有效缓解鄱阳湖干旱，保障社会经济用水，维护湖泊生态安全。长江流域水库的联合调度在流域防洪抗旱方面发挥着巨大效益，有效减少了长江中下游洪水和干旱造成的经济损失[19]。2022年8月1—15日，流域控制性水库群有序向中下游地区补水约5.30×10^9 m^3，其中三峡水库补水1.09×10^9 m^3，一定程度上缓解了长江中下游的干旱程度。模拟显示，尽管三峡水库库容量较大，有一定的补水能力，但对鄱阳湖的补水效果不明显，补水效率较低，且只能进行应急短时补水。在实施长江上游补水的同时，应联合运用湖泊流域和湖区各类水利工程，科学实施江、湖、河协同调度，合理调配上、中游水资源，保障用水需求，减少旱灾对经济社会的影响，维护生态安全。

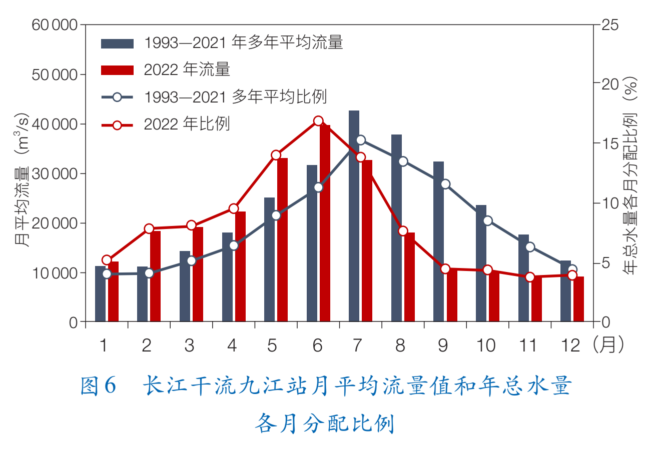


图6　长江干流九江站月平均流量值和年总水量各月分配比例

Figure 6　Monthly average discharge volume and monthly distribution proportion of annual total water volume at Jiujiang Station on mainstream of Yangtze River

（2）科学调控鄱阳湖碟形湖群，维持碟形湖与主湖、河流之间的水文连通，以一定程度上维持湿地生态水位，保障生态安全。鄱阳湖约3 000 km^{2}的洪泛区发育着大量的碟形湖，数量超过100个，面积在1—71 km^{2}之间。高水位时，它们被淹没，与通江水体融为一体；低水位时，碟形湖与通江水体脱离联系，在洪泛区出露形成独特的湖群。研究表明，其中77个碟形湖的总水面面积和总蓄水量分别占枯水期鄱阳湖水面面积和蓄水量的18.5%（± 6.8%）和5.6%（± 2.0%）[1]。这些碟形湖的蓄水量对缓解湖区的干旱具有重要作用。在遵循鄱阳湖自然水文节律规律的基础上，通过运用碟形湖已建的堤坝、闸门，科学调控碟形湖与通江湖泊水体、河流等地表水体之间的水文连通[20,21]，可缓解枯水期和特别干旱年份的湖泊干旱程度，维持湿地生态水量安全。

（3）适度开发利用鄱阳湖平原区地下水资源，弥补湖泊干旱带来的水源不足问题。鄱阳湖平原区指流域“五河”7口水文观测站①以下的集水域，总面积为24 023.6 km^2，约占鄱阳湖流域总面积的15%。平原区地下水埋深年内变幅显著，枯水期地下水埋深0—10 m，平均埋深2 m。浅层含水层主要由中粗砂、砂砾石组成，黏土层间歇性插入，导水性强。地下水与湖泊之间水交换显著。在5—7月，湖泊补给地下水；在8月—次年4月，地下水排入湖泊。在枯水期，地下水补给湖泊的水量达湖泊蓄水量变化的近一半[22]。考虑到平原区地下含水层对水量的巨大调蓄能力，且其补

① 万家埠站、虎山站、外洲站、李家渡站、梅港站、虬津站、渡峰坑站。

给水源丰富，地下水循环过程快，可作为备用水源适度开发利用，作为湖区生活、生产的重要备用水源，应对湖泊的极端干旱灾害。

（4）细化论证拟建鄱阳湖水利枢纽工程的运行调度方案。该枢纽工程在每年汛期4—8月闸门全开，保持江湖完全自由连通；9月—次年3月通过调控闸门拦截出湖水量，对湖区水位进行调节，实现汛末洪水资源化利用，恢复鄱阳湖秋冬季的水文节律。研究发现，枢纽工程可有效抬升湖泊水位，全湖平均水位可抬升3 m[23]。针对不同气候水文年，枢纽工程可使鄱阳湖枯水期水位恢复早期的平均水平，并且将汛末拦蓄的水量滞后半个月，在保证湖区蓄水量的前提下，还能一定程度上缓解长江下游的干旱。但针对如2022年这样的特别干旱年，需要进一步论证枢纽工程的应急调度方案。同时，调度方案的论证还需充分考虑与各类已建水利工程的联合运用。

（5）提升流域尺度极端气象水文事件的预测预报能力，促进数据共享，完善信息发布机制，强化抗旱防灾体系建设。亟需加强流域尺度极端水文事件的预报能力。采用先进技术，加密气象观测和水文观测，融合各类观测数据，提高观测数据的时空分辨率和可靠性；发展新型的湖泊流域水文过程集成模型[24]，延长预见期；强化数据共享和协同工作机制，促进信息共享和交流，提高预警和应对能力；完善极端气象水文事件预警系统，包括预警发布机制、信息传递渠道和应急响应预案，最大限度减轻水旱灾害的影响。

参考文献

1 Tan Z, Melack J, Li Y, et al. Estimation of water volume in ungauged, dynamic floodplain lakes. Environmental Research Letters, 2020, 15(5): 054021.

2 胡振鹏, 葛刚, 刘成林. 越冬候鸟对鄱阳湖水文过程的响应. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1770-1779.
Hu Z P, Ge G, Liu C L. Response of wintering migratory birds to hydrological processes in Poyang Lake. Journal of Natural Resources, 2014, 29(10): 1770-1779. (in Chinese)

3 Zhang Q, Ye X, Werner A D, et al. An investigation of enhanced recessions in Poyang Lake: Comparison of Yangtze River and local catchment impacts. Journal of Hydrology, 2014, 517: 425-434.

4 Zhang Q, Li L, Wang Y G, et al. Has the Three-Gorges Dam made the Poyang Lake wetlands wetter and drier?. Geophysical Research Letters, 2012, doi: 10.1029/2012GL053431.

5 张奇. 鄱阳湖水文情势变化研究. 北京: 科学出版社, 2018.
Zhang Q. Study on the Changes of Hydrological Regime in Poyang Lake. Beijing: Science Press, 2018. (in Chinese)

6 杨桂山, 陈剑池, 张奇, 等. 长江中游通江湖泊江湖关系演变及其效应与调控. 北京: 科学出版社, 2021.
Yang G S, Chen J C, Zhang Q, et al. Evolution of the Relationship between the Yangtze River and Its Connected Lakes, Its Impacts on River and Lake Ecosystems and the Potential Controlling Strategies. Beijing: Science Press, 2021. (in Chinese)

7 胡振鹏. 2022年鄱阳湖特大干旱及防旱减灾对策建议. 中国防汛抗旱, 2023, 33(2): 1-6.
Hu Z P. Serious drought in Poyang Lake in 2022 and countermeasures for drought prevention and disaster reduction. China Flood & Drought Management, 2023, 33 (2): 1-6. (in Chinese)

8 Yao J, Zhang D, Li Y, et al. Quantifying the hydrodynamic impacts of cumulative sand mining on a large river-connected floodplain lake: Poyang Lake. Journal of Hydrology, 2019, 579: 124156.

9 雷声, 石莎, 屈艳萍, 等. 2022年鄱阳湖流域特大干旱特征及未来应对启示. 水利学报, 2023, 54(3): 333-346.
Lei S, Shi S, Qu Y P, et al. Characteristics of extreme drought in the Poyang Lake Basin in 2022 and implications for future response. Journal of Hydraulic Engineering, 2023, 54(3): 333-346. (in Chinese)

10 Li Y, Zhang Q, Cai Y, et al. Hydrodynamic investigation of surface hydrological connectivity and its effects on the water quality of seasonal lakes: Insights from a complex floodplain setting (Poyang Lake, China). Science of The Total

Environment, 2019, 660: 245-259.

11 闵佳玲, 阙江龙, 田镇, 等. 鄱阳湖极枯水位下长江江豚栖息状况分析. 江西农业大学学报, 2023, doi: 10.13836/j.jjau.2023113.

Min J L, Que J L, Tian Z, et al. Analysis of the living conditions of Yangtze finless porpoises in Poyang Lake under extremely dry water level. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2023, doi: 10.13836/j.jjau.2023113. (in Chinese)

12 Chen J, Li Y, Shu L, et al. The influence of the 2022 extreme drought on groundwater hydrodynamics in the floodplain wetland of Poyang Lake using a modeling assessment. Journal of Hydrology, 2023, 626: 130194.

13 宋炎炎, 张奇, 姜三元, 等. 鄱阳湖湿地地下水埋深及其与典型植被群落分布的关系. 应用生态学报, 2021, 32(1): 123-133.

Song Y Y, Zhang Q, Jiang S Y, et al. Groundwater depth and its relation with typical vegetation distribution in the Poyang Lake wetland, China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(1): 123-133. (in Chinese)

14 李忆平, 张金玉, 岳平, 等. 2022年夏季长江流域重大干旱特征及其成因研究. 干旱气象, 2022, 40(5): 733-747.

Li Y P, Zhang J Y, Yue P, et al. Study on characteristics of severe drought event over Yangtze River Basin in summer of 2022 and its causes. Journal of Arid Meteorology, 2022, 40(5): 733-747. (in Chinese)

15 Huang Y Y, Wang B, Li X F, et al. Changes in the influence of the western Pacific subtropical high on Asian summer monsoon rainfall in the late 1990s. Climate Dynamics, 2018, 51(1-2): 443-455.

16 李明, 赵茹昕, 王贵文, 等. 长江中下游流域降水分区及其气象干旱时间变化特征. 长江流域资源与环境, 2020, 29(12): 2719-2726.

Li M, Zhao R Q, Wang G W, et al. Precipitation regionalization in the middle and lower reaches of the Yangtze River and temporal evolution of meteorological drought in each sub-region. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(12): 2719-2726. (in Chinese)

17 冯宝飞, 邱辉, 纪国良. 2022年夏季长江流域气象干旱特征及成因初探. 人民长江, 2022, 53(12): 6-15.

Feng B F, Qiu H, Ji G L. Characteristics and causes of meteorological drought over Changjiang River Basin in summer of 2022. Yangtze River, 2022, 53(12): 6-15. (in Chinese)

18 孙博, 王会军, 黄艳艳, 等. 2022年夏季中国高温干旱气候特征及成因探讨. 大气科学学报, 2023, 46(1): 1-8.

Sun B, Wang H J, Huang Y Y, et al. Characteristics and causes of the hot-dry climate anomalies in China during summer of 2022. Transactions of Atmospheric Sciences, 2023, 46(1): 1-8. (in Chinese)

19 夏军, 陈进, 佘敦先. 2022年长江流域极端干旱事件及其影响与对策. 水利学报, 2022, 53(10): 1143-1153.

Xia J, Chen J, She D X. Impacts and countermeasures of extreme drought in the Yangtze River Basin in 2022. Journal of Hydraulic Engineering, 2022, 53(10): 1143-1153. (in Chinese)

20 Tan Z, Li Y, Zhang Q, et al. Assessing effective hydrological connectivity for floodplains with a framework integrating habitat suitability and sediment suspension behavior. Water Research, 2021, 201: 117253.

21 Liu X, Zhang Q, Li Y, et al. Satellite image-based investigation of the seasonal variations in the hydrological connectivity of a large floodplain (Poyang Lake, China). Journal of Hydrology, 2020, 585: 124810.

22 Song Y, Zhang Q, Melack J M, et al. Groundwater dynamics of a lake-floodplain system: Role of groundwater flux in lake water storage subject to seasonal inundation. Science of the Total Environment, 2023, 857: 159414.

23 Yao J, Gao J, Yu X, et al. Impacts of a proposed water control project on the inundation regime in China's largest freshwater lake (Poyang Lake): Quantification and ecological implications. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2022, 40: 101024.

24 张奇, 刘元波, 姚静, 等. 我国湖泊水文学研究进展与展望. 湖泊科学, 2020, 32(5): 1360-1379.

Zhang Q, Liu Y B, Yao J, et al. Lake hydrology in China: Advances and prospects. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(5): 1360-1379. (in Chinese)

Impacts, contributing factors and countermeasures of extreme droughts in Poyang Lake

ZHANG Qi[1] XUE Chenyang[2] XIA Jun[3*]

（1 Yangtze Institute for Conservation and Development, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2 Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

3 State Key Laboratory of Water Resources Engineering and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China）

Abstract In the past 20 years, the hydrological regime of Poyang Lake changed significantly. The lake water level has been continuously decreasing, resulting in severe droughts. In particular, an extreme drought occurred in 2022, when the lake area shrank to less than 300 km^2. The 2022 extreme drought in Poyang Lake had great impacts on economy, society and ecological environment, which aroused great attentions and wide concerns. Based on long-term data series of meteorological and hydrological data and the existing research outcomes and with the aid of hydrological modeling, this study analyzed the impacts and contributing factors of the 2022 drought in Poyang Lake. Suggestions are also offered on the potential synergistic regulation of hydraulic engineering to cope with such droughts in the future to secure water safety in the middle Yangtze River.

Keywords climate change, extreme droughts, synergistic regulation of hydraulic engineering, water safety, Poyang Lake

张 奇 河海大学长江保护与绿色发展研究院教授。主要研究领域：湖泊流域气候水文学。E-mail: qizhang@hhu.edu.cn

ZHANG Qi Professor, Yangtze Institute for Conservation and Development, Hohai University. His main research covers lake catchment hydrology. E-mail: qizhang@hhu.edu.cn

夏 军 中国科学院院士，挪威科学院外籍院士。武汉大学水安全研究院院长，教授。主要研究领域包括：系统水文学、水资源可持续利用、生态水文、气候变化影响与适应性水管理。E-mail: xiajun666@whu.edu.cn

XIA Jun Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS); Foreign Member of the Norwegian Academy of Sciences; Professor and Director of the Research Institute for Water Security at Wuhan University, China. His main research areas include system hydrology, sustainable utilization of water resources, eco-hydrology, and climate change impact and adaptive water management.
E-mail: xiajun666@whu.edu.cn

■责任编辑：文彦杰

*Corresponding author